

Regularización de medidas

En publicaciones recientes de Arquitectura, tanto libros como revistas, aparecen cada vez con más frecuencia planos hechos sobre cuadrículas, menciones del empleo de módulos, o trabajos especiales sobre modulación o proporciones. También se da cuenta en las revistas de los trabajos de Comisiones y de Organizaciones de distintos países, o Internacionales, que tienden a resolver el problema de hacer proyectos y obras con arreglo a orden y módulo. Esto no es nuevo, pues seguimos usando el Vignola, resto y caricatura del sistema antiguo.

En este artículo expone el arquitecto Luis Moya, que se interesa muy vivamente en tan importantes disciplinas, el estado actual de estos estudios en España y en el extranjero.

Los trabajos sobre modulación persiguen un doble objeto: uno, el más estudiado ahora y más seriamente tratado, es la consecución de una economía importante en la construcción y de un aprovechamiento mejor de sus materiales y trabajo, así como la mayor utilidad del edificio terminado. El otro es un fin artístico, y sobre él se ha trabajado menos, sin duda por la presión agobiante del problema económico. Ambos objetivos fueron, antes del siglo XIX, perseguidos a la vez en todo el mundo y no se consideraban problemas diferentes.

Actitud actual de profesionales y público.

Quitando a los que se dedican a este problema, sea desde el punto de vista del artista, sea desde el punto de vista económico, en general se recibe esto como una tiranía que trata de terminar con la libertad que se tiene para usar dimensiones y proporciones según el gusto de cada cual. Esto es consecuencia de la anarquía que nos queda del romanticismo, que rige todavía en el mundo de la arquitectura.

Tal actitud no se hubiera comprendido en la época del barroco, donde hasta las obras de Churriguera y Rivera están trazadas con arreglo a ley muy fácil de descubrir ahora. Otros miran la cuestión con escepticismo y burla.

Planteamiento del problema en el siglo XIX.

La actitud actual de muchos arquitectos puede deberse a que el sistema de proporciones estaba mal expuesto o incompleto en muchos tratados del siglo pasado. Solían éstos referirse sólo a proporciones, sin relaciones con dimensiones reales, y si lo hacían dejaban fuera muchas cosas, como, por ejemplo, las curvaturas e inclinaciones de columnas y

muros del Partenón y los detalles de decoración y construcción, en general. Los trabajos de Thiersch, Bühlmann, Dehio y otros adolecen de esto, aunque no tanto como Viollet-le-Duc y Tubeuf. Los trabajos verdaderamente serios de Zeising y Moessel tenían, como todos ellos, carácter histórico o arqueológico más que práctico, aunque el primero, por su estudio del cuerpo humano, debía haber tenido consecuencias más importantes de las que tuvo. Más o menos aprovechables ahora, formarían una lista interminable los libros que desde la primera mitad del siglo XIX hasta ahora tratan de esta cuestión. Tendrían que figurar en lugar importante Dörpfeld, Durm, Semper, Pennethorne, Penrose, Choisy, Mauch y muchos más, sin contar con los que por haberse ocupado de las proporciones y medidas en la música, Helmholtz y sus seguidores, pueden ser útiles para el arquitecto.

El sistema consiste en una simple semejanza de figuras geométricas. Es muy rígido, y a la vez arbitrario, porque no determina más que la proporción, no la medida real. Es semejante al método de Vignola, y no tiene ninguna relación con el verdadero sistema antiguo. Es casi imposible emplear este sistema para proyectar una construcción de hoy.

Estado actual de los estudios.

En el aspecto estético-histórico estamos en el momento de las obras generales de Lund, Wenter y Matila Ghyka, de los trabajos de Thener, Lucie Wolfer, C. J. Moe y Fiechter sobre arquitectura griega, las divulgaciones de Mercedes P. Torres ("Los Ritmos y el Hombre") y Trezzini, los artículos de R. Heinisch ("Zahlen in uns", en *Wir und die Welt*, agosto 1941), Colin Rowe ("The Mathematics of the Ideal Villa", en *Architectural Review*, marzo 1947), los comentarios a éste en otras

revistas y muchos más que se publican continuamente. En España tenemos también trabajos importantes: los de nuestro compañero Fernando Chueca en *Archivo Español de Arte*, *Revista de Ideas Estéticas* y *Arte y Hogar*, y el del alumno de la Escuela de Arquitectura de Madrid Félix Sancho en la *Revista Nacional de Arquitectura*.

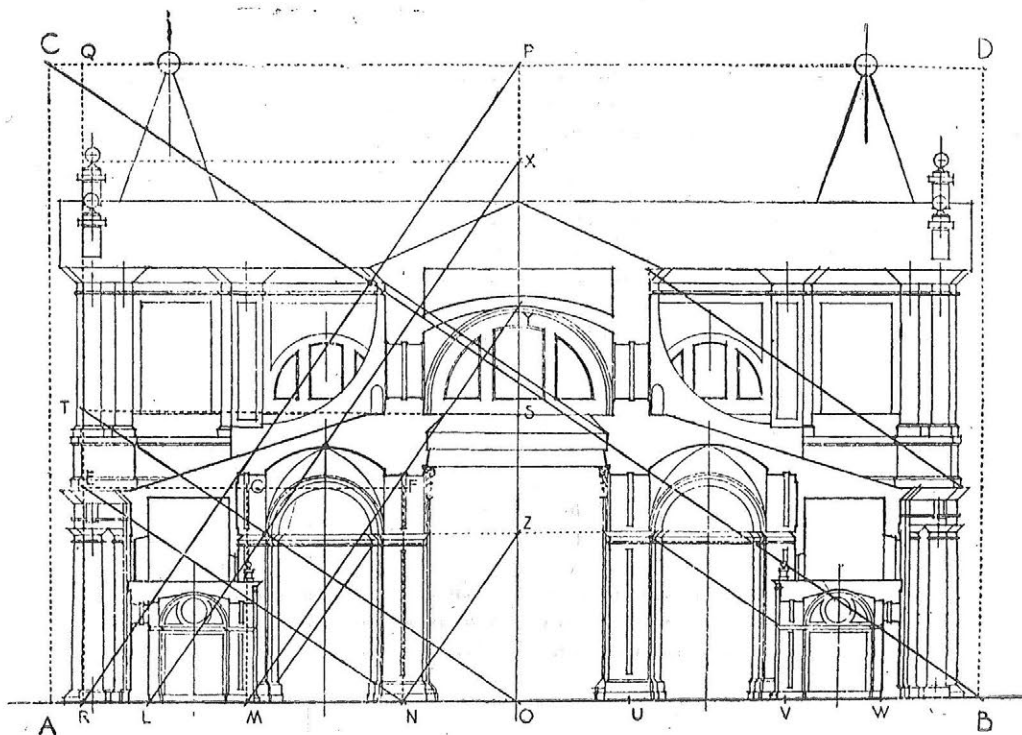
En libros, dedica parte de sus *Invariantes castizos de la Arquitectura Española* el mismo Chueca a esta cuestión, y es sobre todo de excepcional importancia la parte que consagra a ella en su obra más reciente *La Catedral de Valladolid*.

Aunque con menos relación directa, de momento, con nuestra profesión, hay libros también im-

Realizaciones en el extranjero.

Ernst Neufert, el gran arquitecto alemán tan conocido entre nosotros por su *Bauteurfslehre*, "Arte de proyectar en Arquitectura", en la traducción que usamos, publicó en *Die Kunst im Deutschen Reich*, octubre de 1943, un artículo titulado "Bauordnungslehre", o Teoría de la ordenación en la construcción, donde hace una exposición del sistema al que ha dedicado un libro del mismo título que, por desgracia, no he podido conseguir.

Se trataba de lograr una unidad de medida "que satisficiera ante todo las necesidades prácticas que se exigen a los edificios corrientes, como, por ejem-



portantes, como los de Hans Kayser, *Der hörende Mensch* y *Armonía Plantarum*, donde trata de una ordenación universal de formas y medidas desde el punto de vista acústico, o sea musical, en definitiva, y el de R. F. Pickard, *Tiempo, Número y Atomo*, que investiga las relaciones numéricas que aparecen en las tablas de pesos y números atómicos.

Finalmente, no sé si conviene incluir aquí o dejarlos para el apartado de Realizaciones prácticas los varios trabajos de Le Corbusier, desde los que dedica a esta cuestión en *Vers une architecture* (1923), hasta su invención del "Modulor" en 1945, porque todo ello se resiente de la falta de sentido práctico a que nos tiene acostumbrados.

pló, las necesidades espaciales del hombre: anchura de puertas y ventanas, medidas de habitaciones para que puedan ser amuebladas bien, etc.". "También habían de tenerse en cuenta las propiedades estáticas de los materiales: madera, acero y hormigón armado".

Después de muchos estudios, se llegó a la medida básica, 1,25 m., a su desarrollo por el sistema dual y a ciertos redondeos para simplificar este desarrollo. La serie de medidas normativas resulta, en centímetros: 1, 2, 4, 8, 16, 31,5, 63, 125, 250, 500, 1.000 cm. Esto coincide con el antiguo sistema de Prusia, en el que 4 pies valían 1,25 m., y se parece mucho a la antigua medida inglesa para construc-

ción, que era de 4 pies = 1,219 m. Finalmente, propone también como base la décima parte del módulo 1,25 m., o sean 12,5 cm.

Como ejemplo se exponen a continuación algunos módulos empleados recientemente en el extranjero, tomados de distintas revistas:

Werk (Suiza) 1946: Policlínica en Zürich:

Entreejes de ventanas 1,62 m.

Altura de piso a piso 3,40 m.

Architectural Design (Inglaterra), enero 1947:
Hangar de montaje de aviones, para la Bristol Aircraft Co. Filton:

Entreeje de arcos
principales 50 pies = 15,24 m.

La misma, mayo 1947: Biblioteca transformable para la Universidad de Iowa:

"Modelo de espacio": 19 pies 6 pulgadas por 13 pies 6 pulgadas y 8 pies 2 pulgadas de altura =
 $5,944 \times 4,115 \times 2,489$ m.

La misma, julio 1947: Casas prefabricadas en Irlanda, Arquitecto Noel Moffatt:

Paneles: 9 pies por 9 pies = $2,743 \times 2,743$ m.

La misma, septiembre 1947: Fábrica de tejidos de lana en Liverpool, Arquitecto L. Keay:

Cuadrícula: 30 pies, 3 pulgadas y $\frac{3}{4}$ = 9,239 m.

En el mismo número: Casas prefabricadas de Walter Gropius:

Módulo: 3 pies 4 pulgadas = 1,016 m.

Architectural Review (Inglaterra), febrero 1947: Escuelas en Hertfordshire:

8 pies 3 pulgadas = 2,515 m.

Se acompaña de la siguiente observación:
"... Aunque el módulo 8 pies 3 pulgadas es discutible, siendo probablemente más conveniente una dimensión ligeramente menor."

La misma, marzo 1947: Aeropuerto de Río de Janeiro:

Módulo en planta: 16 pies 5 pulgadas por 20 pies o 27 pies = $5,004 \times 6,096$ o $8,230$ m.

Salón principal: 65 pies 6 pulgadas = 19,964 m.

La misma, agosto 1947: Fábrica en el Sur de Gales:

Cuadrícula: 6 pies 4 pulgadas y media = 1,942 m.

La Arquitectura de hoy (Argentina), enero 1947: Estación de Amiens, Arquitecto A. Perret:

Cuadrícula 6,40 m.

En el mismo número: Reconstrucción de Tergnier, Arquitecto jefe U. Cassan:

Módulo 6,40 m.

La misma revista, febrero 1947: Edificio comercial en Zürich, Arquitecto O. R. Salvisberg:

Módulo de ventanas 1,65 m.

La misma, mayo 1947: Casas prefabricadas, Arquitecto Marcel Lods:

Módulo 0,90 m.

L'Architecture d'Aujourd'hui, septiembre 1947: Prototipo estudiado por el Ministerio de Reconstrucción, Arquitectos Nelson, Gilbert y Sebillotte:

Módulo 1,20 m.
Semimódulo 0,60 m.

Architectural Forum (Estados Unidos), enero 1947: Casa cerca de Portland (Oregón), Arquitecto J. Yeon. Muy interesante por el manejo de un sistema modular completo:

Módulo principal: 2 pies = 0,609 m.

El mismo número: "Production Line Structures", Arquitecto Kenneth Lind:

Módulo: 4 pies 4 pulgadas = 1,321 m.

El mismo número: Anuncio de la obra "A 62 Guide for Modular Coordination", bajo la dirección de la American Standards Association:

La misma, febrero 1947: "General Panel", Arquitecto Neutra:

Módulo: 3 pies 4 pulgadas = 1,016 m.

La misma, mayo 1947: "Curtain Wall", Arquitectos Lescage y Davison:

Medidas del panel: 4 pies por 4 pies =
1,219 × 1,219 m.

La misma, agosto 1947: Fábrica de herramientas en Massachussets, Arquitecto W. F. Bogner:

Cuadrícula 20 pies = 6,096 m.

La misma, septiembre 1947: "Industry Engineered Houses", Arquitectos Chapmans y Evans y A. Gordon Lorimer. Se trata de un estudio muy serio para casas de entramado de madera:

Módulo menor: 4 pulgadas = 0,102 m.

Módulo mayor: 4 pies = 1,219 m.

El mismo número: Casa "modular" en la costa de los Angeles, proyectada por Gordon Drake:

Módulo 4 pies = 1,219 m.

The Architect and Building News (Inglaterra). En esta revista semanal aparece muchas veces, a lo largo de este año, el empleo de los módulos 1,20 m. en los países de sistema métrico decimal, y 4 pies = 1,219 m. en Inglaterra y Estados Unidos.

Italia no figura en esta relación porque no he podido conseguir ninguna revista de este país.

Realizaciones en España.

Son muchas en la actualidad las construcciones españolas trazadas con módulo y cuadrícula, sobre todo en los enormes conjuntos de viviendas unifamiliares y de pisos que hacen las Direcciones Generales de Arquitectura y de Regiones Devastadas, los Institutos Nacionales de la Vivienda y de Colonización y otros organismos civiles y militares. Como los datos que poseo ahora no abarcan más que una pequeña parte de estas construcciones, creo preferible dejar para un artículo especial todo lo referente a España, limitando éste a dar una ligera idea de lo hecho en el extranjero. Tienen también mucho interés las conclusiones a que aquí se ha llegado en la construcción de casas prefabricadas.

Conclusiones.

De lo anterior se deduce que hay dos problemas diferentes, aunque no independientes: las medidas y las proporciones. El siglo XIX se ha dedicado sobre todo al segundo problema, al de las proporciones, y esto con un criterio más bien histórico-estético que práctico.

El problema de las medidas, el primero, es el que se está resolviendo actualmente.

Solución actual del problema de las medidas.

Nace este problema de la adopción del sistema métrico decimal, cuya base puramente arbitraria lo hace independiente de toda relación con la medida humana y, por tanto, de sus conveniencias. El metro como módulo sólo ha sido propuesto en este año, al menos según mis noticias, más que por Gropius y Neutra, que coinciden en la medida 3 pies 4 pulgadas = 1,016 metros. Es preciso recordar que ambos son europeos procedentes de países de sistema métrico, y, en cambio, en Alemania, Suiza y Francia no se emplea este módulo en los últimos años.

El sistema antiguo tenía el inconveniente de ser diferentes las medidas tomadas como base, pues el pie o palmo eran adecuados, en general, a la estatura de los habitantes de cada país. Aun así, las diferencias son relativamente pequeñas, como puede verse a continuación:

Pie castellano	278,6 mm.
Pie inglés	304,7 —
Pie de Prusia	312,5 —

En los trabajos actuales, la medida más empleada para viviendas es la que podría llamarse de 4 pies, que oscila desde 1,20 m. en los países de sistema métrico hasta 1,25 m. según el sistema de Neufert, pasando por la medida inglesa y americana de 1,219 m. Dividiendo esta medida por 3 y por 4 se obtienen dos divisiones muy útiles. La serie de módulos observados con más frecuencia, tomando como base la de 1,20 m. para simplificar la explicación, resulta la siguiente, sin pretender con ello dar una escala completa:

0,30; 0,40; 0,60; 0,80; 0,90; 1,20;
1,50; 1,65; 1,80; 1,95; 2,40; 270;
3,00; 3,30; 3,45; 3,60; 4,05; 4,20;
4,50; 4,80; 6,00; 6,30; 6,40; etc.

Todas ellas resultan de emplear los divisores 0,30 (pie) y 0,40 y el medio pie de 0,15, con sus múltiplos. La medida modular para detalles es de 4 pulgadas, que en éste serán 0,10 metros.

Condiciones de un sistema de medidas.

En el *Boletín* de la "International Federation for Housing and Town Planning" de septiembre de 1947 se publican las condiciones para coordinación modular que propone Erik Friberger, de Estocolmo. En la 1.^a adopta 0,10 m. como módulo de detalle. En la 2.^a sugiere ideas para situar gruesos de muros y tabiques en la cuadrícula. La 3.^a pide que la altura de piso a piso esté gobernada por el módulo, aunque pueda no estarlo el grueso del piso,

incluido pavimento. En la 4.^a propone que todos los materiales e instalaciones sean hechos de acuerdo con el módulo en sus dimensiones y colocación. La 5.^a propone que las dimensiones "nominales" de habitaciones, huecos e instalaciones sean dadas en números modulares, añadiendo las "tolerancias" a los tamaños de habitaciones y huecos y restándolas a la carpintería, aparatos sanitarios y otros.

En resumen, el sistema de medidas debe satisfacer dos series de condiciones:

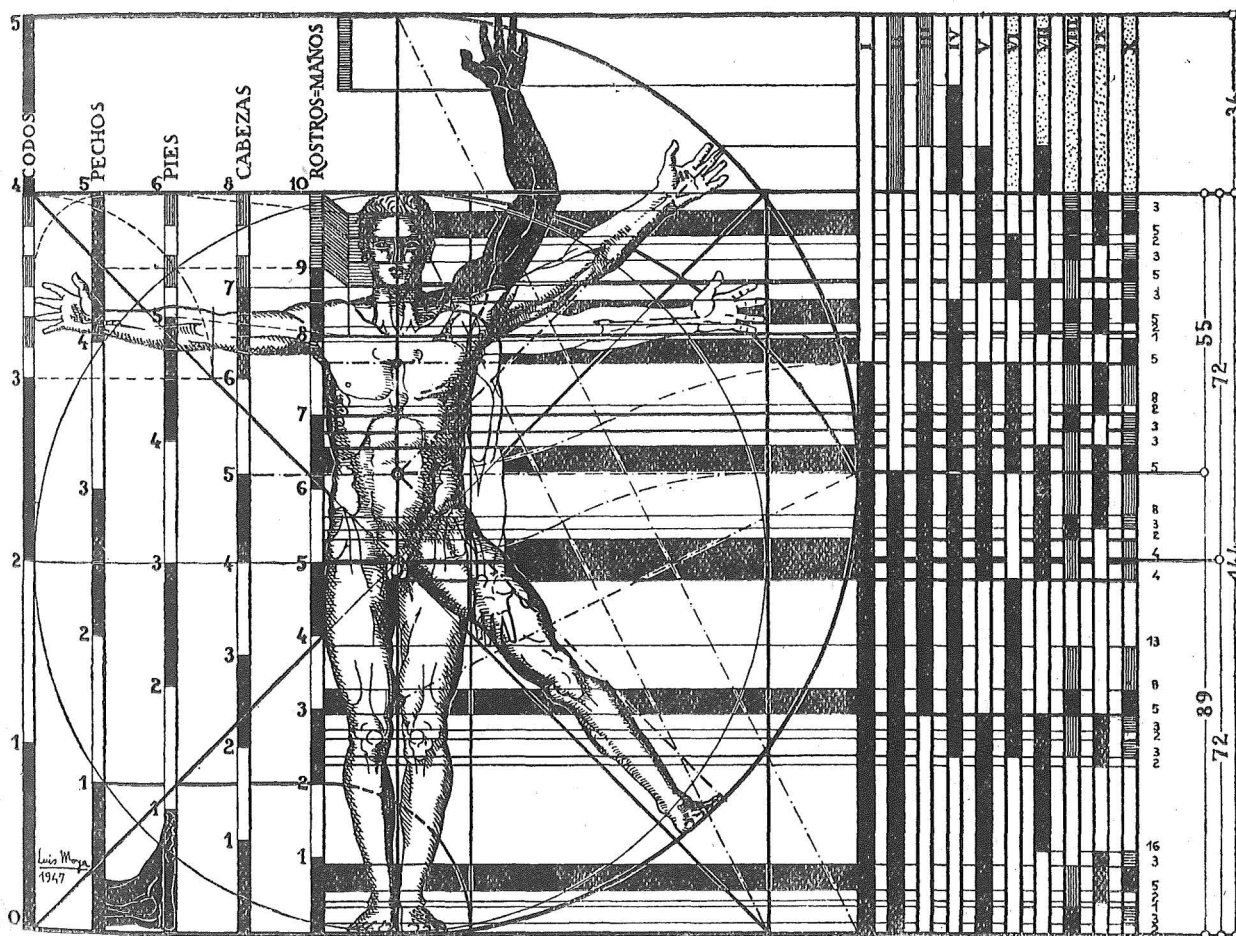
1.^a Las que se derivan de las "necesidades espaciales del hombre", como dice Neufert.

2.^a Las que determinan los materiales en uso.

Respecto de esto último, debe hacerse notar que el ladrillo de 25 cm. que se usa ahora en España

produce longitudes y gruesos de muros que no tienen nada que ver con el metro, una vez que se cuentan las llagas, guarnición y blanqueos, obligando al Arquitecto a usar cotas molestas. Neufert proponía el ladrillo de $0,24 \times 0,115 \times 0,052$ m. para conseguir que las cotas de la obra fueran sencillas.

Los esfuerzos que en Alemania, Suecia, Francia, Inglaterra y Estados Unidos se han hecho y se hacen para hallar un módulo se justifican por la enorme importancia económica que tiene el problema, tanto para construcciones de fábrica como para prefabricadas, pues sólo un buen sistema de medidas permite la producción de elementos en serie que sean útiles para muchas obras diferentes.



El Capítulo I del Libro III de Vitruvio empieza explicando el sistema antiguo de medidas, cuya base, dice, es la altura del cuerpo humano dividida en 4, 5, 6, 8, y 10 partes iguales, como se representa a la izquierda de la figura. El codo se divide en seis palmas, y cada palma en cuatro dedos, con lo que la altura del cuerpo se compone de 24 palmas o de 96 dedos. El texto que ha llegado a nosotros tiene errores, como observan Caporali (1536), Barbaro (1556) y Ortiz y Sanz (1787). Algunos se corrigen fácilmente, pero en la figura sólo se ha puesto lo más seguro.

La división en partes desiguales, según la sección áurea, se representa en las escalas del lado derecho, donde en vez del valor exacto de esta relación (Zeising) se han empleado los números de Fibonacci. De estas escalas, las impares corresponden a las divisiones, según la sección áurea, del círculo con centro en el ombligo, y las pares a las divisiones del cuadrado que se forma con los brazos extendidos, todo ello siguiendo a Vitruvio. Con esto se comprueban las coincidencias con el sistema antiguo. La base de este cálculo es el término 144 de Fibonacci, aplicado a la altura del cuerpo. Le Corbusier, en su «Modulor» sigue el sistema de Zeising, partiendo de una altura de 6 pies ingleses, que son 1,829 metros y ordenando luego las subdivisiones de mayor a menor. En esta figura se ha partido simplemente de un número y no de una medida real, pues la determinación de ésta es un problema que todavía no puede considerarse resuelto.

El aprovechamiento de materias primas es tan grande que los elementos fabricados en serie pueden ser, en general, menos raquíticos que los que usamos.

Respecto al primer aspecto, el de las condiciones espaciales del hombre, hay dos procedimientos para determinarlos: el vigente, que es el racionalista y el tradicional.

El sistema puramente racionalista sería bueno si no respondiese al concepto mecanicista que muchos tienen todavía. Como el ser humano es más variado y divertido que lo que puede abarcar una razón mecanicista, las deducciones de éste resultan aprovechables para un estable de vacas, pero no para una casa. Las medidas propias de ésta sólo pueden estudiarse en casos anteriores que hayan servido bien como tales, de modo que sólo continuando la tradición pueden tenerse garantías de no equivocarse.

El sistema de proporciones.

Está directamente ligado a las medidas. No puede ser independiente de ellas, como en Vignola o en los trazados de diagonales del siglo XIX. Quizá la desaparición del sistema antiguo de proporciones se deba en gran parte a la introducción del sistema métrico, que hizo desaparecer el sistema de medidas naturales, sobre el que se apoyaba toda relación de aquéllas. El problema es muy importante, pues abarca desde problemas prácticos hasta temas filosóficos. Los primeros, porque el cuerpo humano lleva en sí un sistema de proporciones que debe reflejarse para su comodidad en los objetos que usa, y los segundos, porque el espíritu está también condicionado por el sistema de proporciones que rige en la Creación y en el propio cuerpo, que son para el hombre todo el universo visible y audible desde su nacimiento. No puede tratarse aquí este asunto, por ser éste un simple artículo de información, aunque para terminar se dará cuenta del trabajo publicado por G. Fistié en *L'Architecture Française*, enero 1942, referente a la "Influencia de las proporciones en un edificio sobre sus pérdidas caloríficas". Las conclusiones de este trabajo son: para una casa de base cuadrada, la altura conveniente técnicamente es:

$$h = \sqrt[3]{F^2 V}$$

siendo:

h = la altura conveniente.

F = coeficiente que depende de los mate-

riales y las diferencias de temperatura exterior e interior.

V = Volumen en metros cúbicos.

Supuestos muros de 0,33 m. de ladrillo con revestido, 25° de diferencia de temperatura y un suelo y un techo separando las habitaciones del sótano y del desván, resulta $F = 0,618 = \frac{1}{\Phi}$,

donde Φ es la sección áurea. Por tanto, $h = \sqrt[3]{\frac{V}{\Phi^2}}$

y el lado de la base, $l = \sqrt[3]{\Phi V}$

La relación del lado de la base a la altura es

$$\frac{l}{h} = \Phi$$

Si la base no es cuadrada, pero tiene Φ como relación entre sus lados L y l , y $F = \frac{1}{\Phi}$ como antes, se tiene, aplicando la fórmula correspondiente, que

$$\frac{L}{l} = \Phi \quad \frac{l}{h} = \frac{\Phi}{2} \quad \frac{L}{h} = \frac{\Phi^2}{2}$$

Si el valor del coeficiente es $F = 0,5$, resulta:

$$\frac{L}{l} = \frac{2}{\Phi} \quad \frac{h}{L} = \frac{L}{l} = \frac{\Phi}{2}$$

Esta es una de las aplicaciones más notables e inesperadas de la sección áurea.

El "Modulor" de Le Corbusier consiste en una doble escala de medidas, en cada una de las cuales cada segmento está en la relación de la sección áurea (Φ) con el que le precede y con el que le sigue. Una de estas escalas tiene como base la altura del hombre, supuesta de 6 pies = 1,828 m., dividida por el ombligo en dos partes, cuya relación, como es sabido, es Φ . La parte inferior se divide análogamente hasta llegar a la medida más pequeña, que es de 6 mm. La otra escala tiene como base la altura del hombre con el brazo levantado, que supone ser de 7 pies 5 pulgadas = 2,260 m., con lo que el ombligo la divide en dos partes iguales. Dividida en su totalidad de modo semejante a la primera escala, se llega hasta la medida de 6 mm. como más pequeña. De este modo se tienen dos escalas paralelas, en las que los términos de cada una están ligados a los de la otra por la relación Φ